



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) DE 100 13 373 A 1

(51) Int. Cl. 7:  
**F 01 D 5/28**

(21) Aktenzeichen: 100 13 373.8  
(22) Anmeldetag: 17. 3. 2000  
(43) Offenlegungstag: 20. 9. 2001

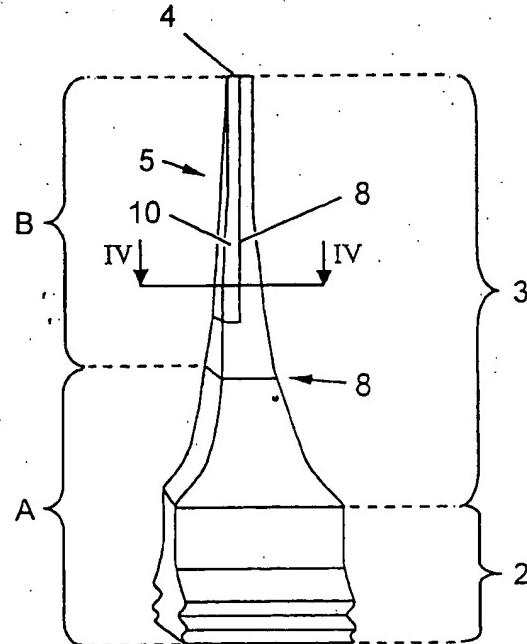
(71) Anmelder:  
ABB ALSTOM Power N.V., Amsterdam, NL  
  
(74) Vertreter:  
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241  
München

(72) Erfinder:  
Meylan, Pierre, Magglingen, CH

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:  
DE-PS 25 10 286  
DE-AS 14 26 812  
GB 10 81 073

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- (54) Turbinenschaufel einer Dampfturbine  
(57) Eine Turbinenschaufel (1) einer Niederdruckstufe einer Dampfturbine setzt sich aus zwei Teilen zusammen, einem unteren Teil (A), welcher aus einem gewöhnlichen Stahl besteht und auch den Schaufelfuß mit einschließt, sich aber auch auf einen Teil des Turbinenblatts (3) beziehen kann, und einem oberen Teil (B), welcher vom unteren Teil (A) bis zur Schaufelspitze (4) reicht und aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung besteht. Zu Schutz vor Tropfenerosion kann an erosionsgefährdeten Zonen zusätzlich ein erosionsbeständigeres Material, beispielsweise in Form einer Erosionsplatte, (10) angebracht sein.



DE 100 13 373 A 1

# DE 100 13 373 A 1

1

## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET

Bei der Erfindung handelt es sich um eine Turbinenschaufel einer Dampfturbine.

### STAND DER TECHNIK

Bei Turbinenschaufeln von Dampfturbinen ergeben sich im Niederdruckteil starke Schaufelbelastungen durch die bereits entsetzende Kondensation und der damit verbundene Tropfenbildung. Die sich bildenden Tropfen treffen mit einer hohen Geschwindigkeit auf die Schaufeln auf und führen zu einem starken Schaufelverschleiss durch Erosion. Für den Wirkungsgrad einer Dampfturbine ist aber andererseits entscheidend, dass der Dampf insgesamt so weit wie möglich entspannt werden kann. Gerade für Wirkungsgradsteigerungen bestimmt der Druck, welcher an der letzten bzw. vorletzten Schaufelreihe des Niederdruckteils herrscht, den Gesamtwirkungsgrad. Der Druck bestimmt sich durch die Grösse, d. h. aus der Länge der Turbinenblätter, der dort eingesetzten Turbinenschaufeln.

Natürlich treten neben der erwähnten Tropfenerosion auch schwingungsdynamische Probleme auf, welche die Vergrösserung erschweren bzw. sogar verunmöglichen.

Erosiongeschützte Schaufeln, bzw. Verfahren zur Herstellung solcher Turbinenschaufeln sind zahlreich aus dem Stand der Technik bekannt. Einfache Lösungen bieten beispielsweise die Patentschriften CH-160,226, CH-142,542, CH-383,250, CH-360,230, CH-425,345, CH-427,852 oder US 3,689,178 an. Im wesentlichen betreffen diese Schriften verschiedene Ausgestaltungen der Vorderkante des Turbinenblattes zum verbesserten Schutz gegen Korrosion, bieten aber keine Lösung um die Länge der Turbinenschaufeln insgesamt zu vergrössern. Ähnliches Problem stellt sich auch bei der aus verschiedenen Materialien zusammengesetzten Turbinenschaufel, welche in DE-19 63 024 beschrieben wird. In Abhängigkeit von der lokalen Beanspruchung der Turbinenschaufel während des Betriebes werden an der Vorderseite erosionsbeständigere Materialien eingesetzt. Diese werden durch Elektronenstrahlschweissen miteinander verbunden.

Eine Lösung zur Aufgabe, eine vergrösserte Länge der Turbinenschaufel einer Dampfturbine bereitzustellen, ist auf der anderen Seite beispielsweise in der Europäischen Veröffentlichungsschrift EP-A2-831,203 vorgeschlagen. Die Länge der letzten Dampfturbinenschaufel ist mit 1092 mm angeben. Sie ist mit einer Erosionsplatte aus Stellit ausgestattet. Dabei ist die Turbinenschaufel aus einem Stück martensitischen Stahls aus einer bestimmten Legierung geformt und weist eine Deckplatte auf. Aufgrund des Materials, also insbesondere mit der damit verbundenen Masse, und den dabei auftretenden Schwingungsphänomenen sind aber auch diesen Schaufeln einer weiteren Längenänderung Grenzen gesetzt.

### DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist Ziel dieser Erfindung, die genannten Nachteile zu vermeiden. Die Erfindung löst die Aufgabe, eine Turbinenschaufel einer Endstufe einer Niederdruck-Dampfturbine zu schaffen, welche sich durch ein grösseres Abmass als bisher bekannt auszeichnet und bei welcher auch keine besonderen schwingungsdynamischen Probleme auftreten.

Erfindungsgemäß wird dies bei einer Turbinenschaufel einer Dampfturbine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs dadurch erreicht, dass ein unterer Teil der Turbinenschaufel,

2

welcher den Schaufelfuss einschliesst, aus einem Stahl und ein an den unteren Teil anschliessender oberer Teil der Turbinenschaufel, welcher bis zur Schaufel spitze reicht, aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung besteht.

5 Durch diese Zweiteilung der Turbinenschaufel und durch den Einsatz einer Titan- oder Aluminiumlegierung im oberen Teil wird vorteilhaft eine Gewichtsreduktion der Turbinenschaufel erreicht. Bei gleicher oder sogar verkleinerter Masse kann also eine vergrösserte Turbinenschaufel hergestellt werden. Je nach Ausführungsart und Anwendungsfall kann auch ein unterer Teil des Schaufelblattes noch aus dem Stahl des Schaufelfusses bestehen.

Da bei vergrösserten Turbinenschaufeln aufgrund der Rotordynamik Schwingungen zu erwarten sind, kann es sich 15 als vorteilhaft erweisen, über den Umfang einer Entspannungsstufe der Niederdruckturbine an die Schaufelpitzen der Turbinenschaufeln ein Deckband anzubringen. Dieses Deckband wird ebenfalls aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung gefertigt und wird vorteilhaft mit dem aus der Titan- oder Aluminiumlegierung bestehenden oberen Teil der Schaufelblattes einstückig hergestellt.

Vorteilhaft kann die Verbindungsstelle zwischen dem unteren und dem oberen Teil auch in Form einer schrägen Ebene oder einer in Form von Ausbuchtungen ausgeführt 25 werden. Dies führt zu einer Vergrösserung der (Grenz-)Fläche und damit zu einer Abnahme der mittleren Spannung in dieser Fläche.

Da der Stahl und auch die Titan- bzw. Aluminiumlegierung insbesondere für die im Endbereich auftretende Tropfenerosion nicht ausreichend erosionsbeständig sind, erweist es sich als vorteilhaft, an besonders erosionsgefährdeten Zonen der Turbinenschaufel ein anderes, erosionsbeständigeres Material einzusetzen. Dies kann beispielsweise 30 in Form einer Erosionsplatte, welche aus einem gehärteten Stahl oder aus Stellit bestehen kann, an der Vorderseite der Turbinenschaufel geschehen.

Vorteilhaft kann die erfundungsgemässen Turbinenschaufel im Schaufelfuss oder im Schaufelblatt teilweise oder ganz hohl sein. Dies kann geschahen, um Mass zu sparen und 35 auch um Spannungen in der Turbinenschaufel zu verringern.

Die einzelnen Teile (unterer Teil, oberer Teil und auch die Erosionsplatte) können vorteilhaft an den Verbindungsstellen mit Elektronen- oder Laserstrahlschweissen, oder durch Löten verbunden werden.

Eine erfundungsgemässen Turbinenschaufel wird mit Vor teil im Endbereich einer Niederdruckturbine als letzte oder vorletzte Turbinenschaufel eingesetzt, da die vergrösserten Abmass eine tiefere Entspannung des Dampfes zulassen, bei gleichzeitig genügendem Schutz gegen Tropfenerosion.

### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfundungsgemässen Turbinenschaufel,

Fig. 2 eine schematische Darstellung mehrerer erfundungsgemässer Turbinenschaufeln an einem Rotor mit einem Deckband,

Fig. 3 eine zweite Ausführungsform einer erfundungsgemässen Turbinenschaufel,

Fig. 4 einen Schnitt gemäß der Linie IV-IV in der Fig. 3 durch eine erfundungsgemässen Turbinenschaufel und

Fig. 5a, b zwei verschiedene Ausführungsformen der Verbindungsstelle.

65 Es werden nur die für die Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Gleiche Elemente werden in unterschiedlichen Zeichnungen mit gleichen Bezugssymbolen versehen.

## WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Die Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel 1 einer Dampfturbine. Die Turbinenschaufel 1 besteht aus einem Schaufelfuss 2, welcher zur Befestigung an einem in der Fig. 1 nicht dargestellten Rotor 9 dient. An dem Schaufelfuss 2 ist ein Schaufelblatt 3 befestigt, welches mit einer Schaufel spitze 4 endet. Erfindungsgemäß besteht die Turbinenschaufel 1 aus zwei Materialien. Ein unterer Teil A, welcher den Schaufelfuss 3 mit beinhaltet, und auch einen Teil des Turbinenblattes 3 einschließen kann, ist aus einem herkömmlichen Stahl gefertigt. Es kann sich dabei beispielsweise um martensitischen Stahl handeln, so 10% Cr-Stahl. Ein oberer Teil B, welcher sich an den unteren Teil A anschliesst, ist aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung gefertigt. Durch geeignete Legierungselemente kann eine ausreichende Resistenz gegen Korrosion und auch eine hohe Festigkeit erreicht werden. Die Verbindungsstelle 8 zwischen dem unteren Teil A und dem oberen Teil B kann durch Elektronen- oder Laserstrahlschweissen oder durch Löten entstehen.

In der Fig. 2 wird eine Entspannungsstufe einer Dampfturbine mit mehreren Turbinenschaufeln 1 dargestellt, welche mit den Schaufelfüssen 2 über den Umfang an dem Rotor 9 befestigt sind. Ebenfalls über den Umfang ist an den Schaufel spitzen 4 der verschiedenen Turbinenschaufeln 1 ein Deckband 6 angebracht. Dieses Deckband 6 dient bei den vergrößerten Turbinenschaufeln 1 vorteilhaft dazu, Schwingungen zu vermeiden. Das Deckband 6 ist ebenfalls aus der Titan- oder Aluminiumlegierung des oberen Teils B der Turbinenschaufel 1 hergestellt. Es kann einstückig zusammen mit dem oberen Teil B der Turbinenschaufel 1 gefertigt sein. Wiederum ist die Verbindungsstelle 8 zwischen dem oberen Teil B und dem unteren Teil A durch Elektronen- oder Laserstrahlschweissen oder durch Löten entstanden.

Die Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel 1. Es handelt sich dabei um die in der Fig. 1 dargestellte Turbinenschaufel 1, welche an der Vorkante 5 der Turbinenschaufel 1 zusätzlich mit einer Erosionsplatte 10 ausgestattet ist. Die Verbindungsstelle 8 zwischen dem oberen Teil B und der Erosionsplatte 10 ist wiederum durch Elektronen- oder Laserstrahlschweissen oder durch Löten entstanden. Allgemein ist es notwendig, die Turbinenschaufel 1 an durch Tropfenerosion gefährdeten Zonen mit einem erosionsbeständigerem Material auszustatten. Als erosionsbeständigeres Material kann ein gehärteter Stahl oder auch ein Stellite verwendet werden.

Die Fig. 4 zeigt den Schnitt IV-IV durch die Turbinenschaufel 1 in der Fig. 3. Die Turbinenschaufel 1 kann wie in der Fig. 4 ersichtlich ist, ganz oder teilweise einen Hohlraum 7 aufweisen. Dieser Hohlraum 7 kann in dem Turbinenschaufelfuss 2 oder auch in dem Turbinenschaufelblatt 3 angeordnet sein. Der Hohlraum 7 bietet den Vorteil, dass das Gewicht der Turbinenschaufel 1, welches durch die Verwendung der Titanium- und Aluminiumlegierung bereits erniedrigt ist, weiter reduziert wird. Der Hohlraum 7 kann auch deshalb besonders einfach gefertigt werden, da die beiden Teile, der untere Teil A und der obere Teil B erst später miteinander verbunden werden. Durch den Hohlraum 7 werden auch Spannungen, welche in der Turbinenschaufel 1 auftreten, reduziert. In der Fig. 4 ist an der vorderen Seite die zusätzlich angebrachte Erosionsplatte 10 sichtbar.

Die Fig. 5a und 5b zeigen verschiedene Ausführungsformen von der Verbindungsstelle 8 zwischen dem unteren Teil A und dem oberen Teil B der Turbinenschaufel 1.

In der Fig. 5a wird zur Flächenvergrößerung dieser Verbindungsstelle 8 die Schweissverbindung in Form einer schrägen Ebene durchgeführt. Diese Ausführungsform hat

den Vorteil, dass sich die auftretenden Spannungen über die gesamte (vergrößerte) Fläche der Schweissverbindung verteilen, so dass die resultierende (mittlere) Spannung insgesamt und vorteilhaft verkleinert ist. Die Verbindungsstelle 8 wird auf diese Art und Weise weniger belastet. Mit  $\alpha$  wird in der Fig. 5a der Winkel der schrägen Ebene zu einer Mittelachse 11 der Turbinenschaufel 1 bezeichnet. Er sollte in einem Bereich von  $5^\circ$  bis  $50^\circ$  liegen.

Eine zweite Ausführungsform der Verbindungsstelle 8 ist in der Fig. 5b dargestellt. Zur Flächenvergrößerung auf der einen Seite und für einen verbesserten mechanischen Halt der Verbindungsstelle 8 auf der anderen Seite ist eine Ausbuchung 12 am unteren Teil A vorhanden. Diese könnte beispielsweise auch an dem oberen Teil B sein. Auch mehrere dieser Ausbuchungen 12 können vorhanden sein. Auch auf diese Weise kann eine kraft- und formschlüssige Verbindungsstelle bereitgestellt werden.

Eine in den Ausführungsbeispielen beschriebene Turbinenschaufel 1 kann vorteilhaft als letzte oder vorletzte Turbinenschaufel 1 einer Niederstufe einer Dampfturbine eingesetzt werden, da die so hergestellten Turbinenschaufeln 1 eine grössere Länge aufweisen. Durch die vergrößerte Länge der Turbinenschaufel 1 wird ein geringerer Druck, auf den der Dampf entspannt werden kann, erreicht, mit dem auch der Gesamtwirkungsgrad der Dampfturbine steigt. Durch die Erosionsplatte 10 kann gleichzeitig ein wirksamer Schutz vor Tropfenerosion erreicht werden.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Turbinenschaufel
- 2 Schaufelfuss
- 3 Schaufelblatt
- 4 Schaufel spitze
- 5 Vorderkante
- 6 Deckband
- 7 Hohlraum
- 8 Verbindungsstelle
- 9 Rotor
- 10 Erosionsplatte
- 11 Mittelachse der Turbinenschaufel 1
- 12 Ausbuchung
- A unterer Teil der Turbinenschaufel 1
- B oberer Teil der Turbinenschaufel 1
- $\alpha$  Winkel

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) einer Dampfturbine, welche einen Schaufelfuss (2) und ein Schaufelblatt (3) aufweist, wobei das Schaufelblatt (3) an einem Ende mit dem Schaufelfuss (2) verbunden ist, an dem anderen Ende eine Schaufel spitze (4) aufwächst und die Turbinenschaufel (1) eine Vorderkante (5) besitzt, und wobei die Turbinenschaufel (1) aus verschiedenen Materialien besteht, dadurch gekennzeichnet, dass ein unterer Teil (A) der Turbinenschaufel (1), welcher den Schaufelfuss (2) einschliesst, aus einem Stahl und ein an den unteren Teil (A) anschliessender oberer Teil (B) der Turbinenschaufel (1), welcher bis zur Schaufel spitze (4) reicht, aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung besteht.
2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Teil (A) der Turbinenschaufel (1) den Schaufelfuss (2) und einen Teil des Turbinenblattes (3) einschliesst.
3. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Teil (A) und der

DE 100 13 373 A 1

5

6

oberen Teil (B) der Turbinenschaufel (1) kraft- und formschlüssig in der Form einer schrägen Schweißverbindung miteinander verbunden sind, wobei sich die Schräglage in bezug auf die Mittelachse (11) der Turbinenschaufel (1) bezieht mit einem Winkel  $\alpha$ , welcher zwischen der Mittelachse (11) und der schrägen Schweißverbindung liegt, von  $5^\circ$  bis  $50^\circ$ .

4. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsstelle (8) kraft- und formschlüssig in Form mindestens einer Ausbuchtung (12), welche sich in dem unteren Teil (A) 10 oder dem oberen Teil (B) befindet, vorliegt.

5. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufelspitze (4) der Turbinenschaufel (1) mit einem Deckband (6) verbunden ist, welches aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung besteht, und welches alle Schaufelspitzen (4) einer Entspannungsstufe der Dampfturbine über den Umfang miteinander verbindet.

6. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Deckband (6) und der aus einer Titan- oder Aluminiumlegierung bestehende obere Teil (B) der Turbinenschaufel (1) einteilig gefertigt sind.

7. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass an erosionsgefährdeten Zonen zusätzlich ein erosionsbeständigeres Material als Stahl und Titan- oder Aluminiumlegierung angeordnet ist.

8. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Erosionsplatte (10) an der Vorderkante (5) der Turbinenschaufel (1) angeordnet ist.

9. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Erosionsplatte (10) aus einem gehärteten Stahl oder aus Stellite besteht.

10. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbinenschaufel (1) einen Hohlraum (7) ausweist.

11. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die verschiedenen Materialien der Turbinenschaufel (1) durch Elektronen-, Laserstrahlschweißung oder durch Lötzung verbunden sind.

12. Verwendung einer Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, als letzte oder vorletzte Turbinenschaufel (1) einer Niederdruckstufe in einer Dampfturbine.

45

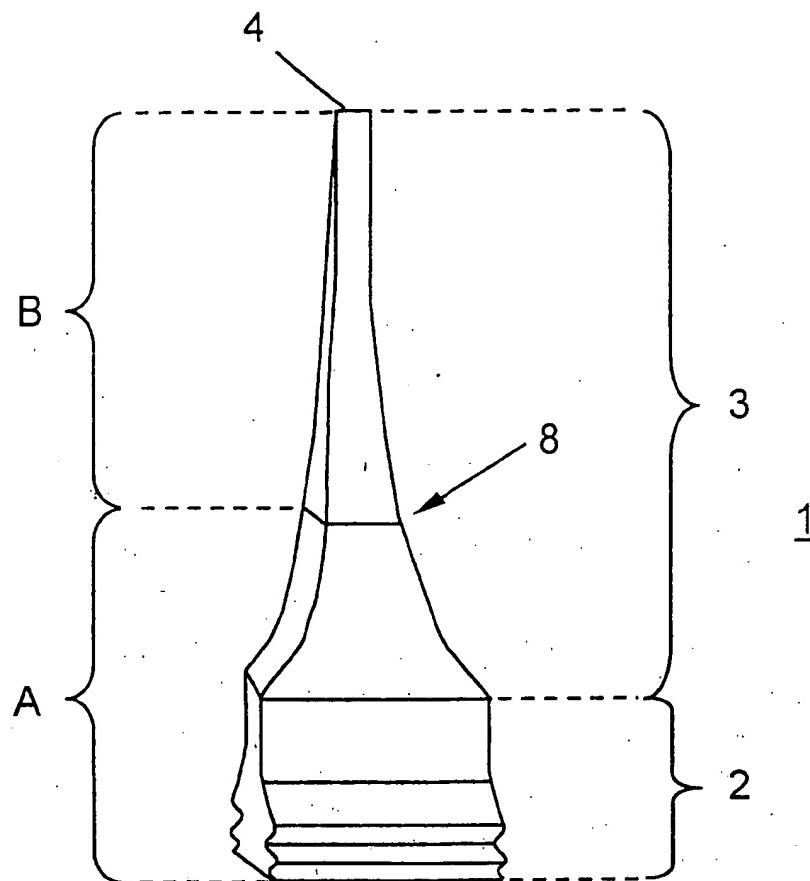
50

55

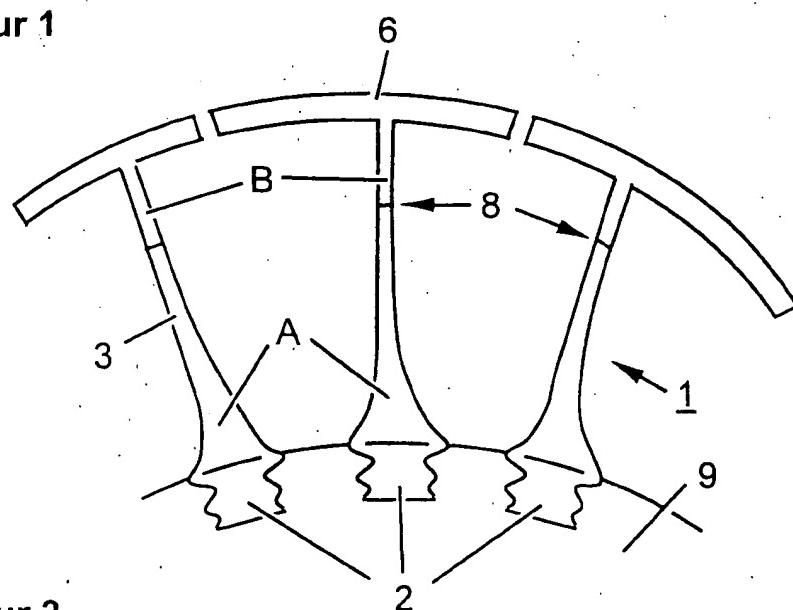
60

65

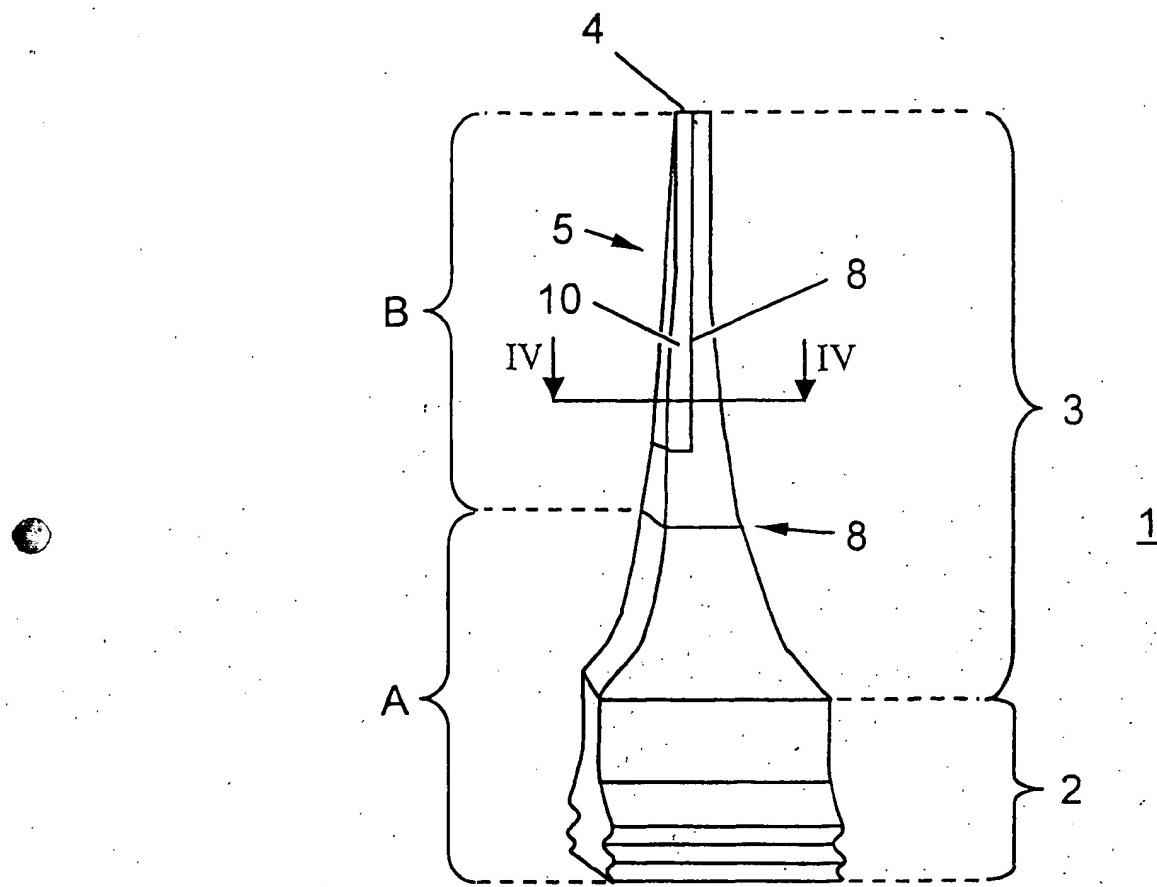
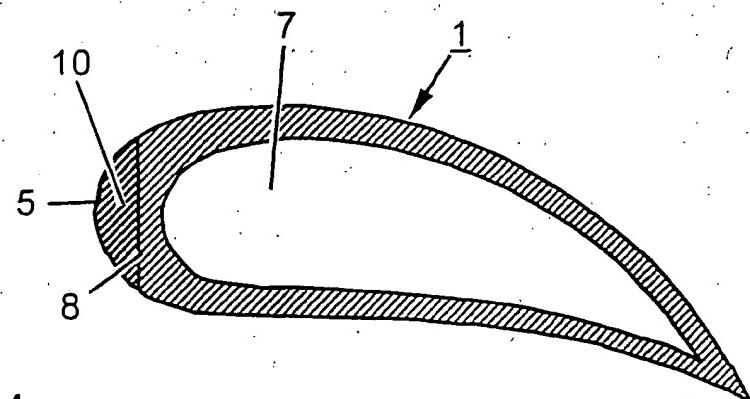
- Leerseite -

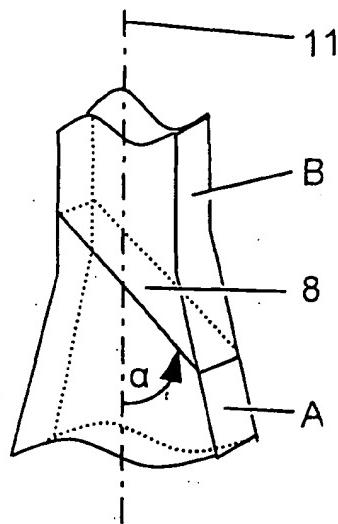


Figur 1

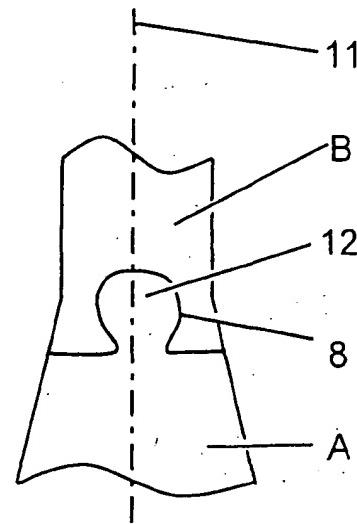


Figur 2

**Figur 3****Figur 4**



Figur 5a



Figur 5b